INSTITUTUL DE MECANICA SOLIDELOR AL ACADEMIEI ROMÂNE

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Contribuţii în controlul mișcării sistemelor de prehensiune pentru roboți și mâini umanoide inteligente

Conducător Științific
Prof.cercet. șt. gr. I dr. ing. Luige Vlădăreanu

Doctorand
ing. Dănuț Adrian Bucur

București

2014

Mulțumiri

Îmi exprim recunoștința în primul rând față de conducătorul științific al acestei Teze, dl Prof. cercet.șt. gr. I dr.ing. Luige Vlădăreanu, pentru competenta îndrumare, pentru sugestiile și criticile constructive și bine direcționate, pentru încrederea și răbdarea cu care m-a călăuzit. Fără suportul domniei sale, această Teză nu ar fi ajuns la forma actuală.

Mulțumesc anticipat președintelui Comisiei de Doctorat (dl cercet.șt. gr. I dr. Tudor Sireteanu) precum și membrilor acesteia (d-na Conf.univ.dr.ing. Gabriela Tonț, dl Prof.univ.dr. Paul Șchiopu, dl Cercet.șt. gr. I dr.ing. Lucian Căpitanu) pentru atenția acordată Tezei și pentru observațiile valoroase și utile pe care mi le-au adresat pe marginea ei.

Aduc mulţumiri Prof. dr. Florentin Smarandache, de la Universitatea din New Mexico-Gallup SUA, fondatorul logicii neutrosofice şi autorul teoriei DSm, pentru ajutorul acordat în dezvoltarea şi aplicarea celor două teorii.

Aș dori să adresez mulțumiri Prof. Hongnian Yu de la Universitatea Bournemouth UK, Prof Xianchao Zhao de la Universitatea Shanghai Jiao Tong, Prof. Vladimir Balan de la Universitatea Politehnica din Bucureşti, Conf. Gabriela Tonț, de la Universitatea din Oradea, Prof. Mircea Boșcoianu de la Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă" Brașov, Prof. Radu Ioan Munteanu, Prof. Radu Adrian Munteanu, de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, CS Tudor Sireteanu, CS Doina Marin, CS Videa Emil de la Institutul de Mecanica Solidelor, pentru sprijinul acordat în elaborarea și publicarea lucrărilor științifice.

De asemenea, doresc să mulțumesc d-nei Lect.dr. Laura Matei pentru sprijinul și sugestiile acordate în momente de maximă importanță pentru elaborarea prezentei Teze.

Sunt recunoscător tuturor colegilor din grupul de cercetare format și îndrumat de dl. Prof. cercet.șt. gr. I dr.ing. Luige Vlădăreanu, alături de care munca mea de cercetare a fost și va fi o experiență interesantă și fructuoasă.

Nu în ultimul rând, mulțumesc din tot sufletul familiei mele, și în special iubitei, la care am găsit întotdeauna susținere și înțelegere, precum și prietenilor pentru sprijinul, ideile și încurajările acordate.

Autorul

Cuprins

1. Introducere..4
2. Stadiul actual al cercetărilor privind controlul mişcării inteligente a sistemelor robotice de prehensiune...6
3. Dezvoltarea mediului de simulare 3D pentru mâna robotică antropomorfă..........6
4. Controlul hibrid forță-poziție al sistemelor de prehensiune pentru mâini umanoide inteligente 7
5. Experimentări privind controlul mâinii robotice 7
6. Optimizarea procesului de prehensiune 9
7. Contribuţii originale. 11
8. Concluzii. 13
9. Anexe..15
10. Bibliografie selectivă...16

1. Introducere

Robotica se ocupă cu studiul acelor maşini ce pot înlocui omul în executarea anumitor sarcini, atât din punctul de vedere al activităţii fizice cât şi cel al luării deciziilor.

Robotica are rădăcini culturale adânci. Pe parcursul secolelor, oamenii au încercat să caute mijloace care să fie capabile să le imite comportamentul astfel încât să îi înlocuiască în anumite situaţii. Principii filozofice, economice, sociale şi ştiinţifice au inspirat această căutare continuă.

Rolul principal al roboților în societate constă în capacitatea lor de a ajuta oamenii prin a le prelua sarcinile monotone sau cele ce trebuie îndeplinite în medii murdare sau periculoase. Lumea modernă industrializată nu ar fi existat fără roboți. Roboții sunt folosiți în aplicații ce pornesc de la curățarea deversărilor de substanțe toxice la dezarmarea bombelor și protejarea soldaților pe câmpul de luptă. Mai nou, roboții umanoizi și costumele exoschelet, proiectate inițial pentru a fi folosite în aplicații militare, încep să fie produse pentru sectorul privat și utilizate în aplicații de ajutorare în munca de zi cu zi sau în cele de recuperare și ajutorare a persoanelor cu probleme de mobilizare. Roboții joacă un rol important și în procedurile medicale, făcând posibile proceduri chirurgicale non-invazive, care, spre deosebire de procedurile tradiționale, au un timp de recuperare mult mai mic.

Controlul manipulatoarelor este o arie de cercetare bogată şi în plină dezvoltare. Roboţii industriali sunt, în principiu, dispozitive de poziţionare şi manipulare. Prin urmare, un robot folositor este acel robot capabil să îşi controleze mişcările şi forţele interactive care apar între robot şi mediu.

Controlul presupune existenţa unui model matematic şi o anume inteligenţă care să acţioneze pe baza modelului. Modelul matematic al robotului este obţinut din legile de bază ale fizicii care îi guvernează mişcările. Pe de altă parte, inteligenţa necesită capabilităţi senzoriale şi mijloace de acţionare şi reacţionare la variabilele detectate. Aceste acţiuni şi reacţiuni ale robotului sunt rezultatul proiectării controlerului.

De ce mișcare inteligentă? Pentru ca robotul să preia sarcinile omului trebuie să acționeze ca acesta – inteligent.

De ce "sisteme robotice de prehensiune"? Prehensiunea joacă un rol important în industrie, deoarece majoritatea roboților industriali îndeplinesc sarcini de prindere a pieselor în vederea manipulării / transferului dintr-o poziție inițială într-o poziție finală necesară în cadrul unei acțiuni, respectiv, a unui proces tehnologic robotizat.

Deținerea controlului asupra mișcării inteligente a sistemelor de prehensiune permite crearea roboților ce vor „şti ce au de făcut".

După ce omul recunoaște forma obiectului, se face o aproximare a dimensiunii obiectului, iar în timp ce mâna se apropie de obiect, degetele se preconfigurează conform cu suprafața obiectului ce urmează a fi prehensat. Cunoscând astfel de metode, crește numărul sarcinilor pe care un robot le poate îndeplini.

Sistemul de prehensiune este cel mai important subsistem al unui robot, deoarece acesta îi conferă robotului posibilitatea de a realiza o gamă variată de sarcini (apucarea, manipularea și transportul unor diverse obiecte). Prehensiunea reprezintă interacțiunea dintre robot și un obiect cu scopul de al manipula sau transfera dintr-o poziție în alta. Această operație este realizată cu ajutorul sistemului de prehensiune, denumit și prehensor.

Scopul lucrării, având în vedere importanța sistemelor de prehensiune, atât pentru roboții industriali cât și pentru cei utilizați în mediile neindustriale, este acela de a studia și îmbunătăți actualele metode de control ale sistemelor de prehensiune pentru roboți și mâini umanoide.

Lucrarea se axează pe studiul mișcării mâinilor umanoide inteligente, fapt pentru care a fost dezvoltat un mediu de simulare pentru aceste sisteme de prehensiune, cu ajutorul căruia să se poată testa cu ușurința diferite metode de control inteligent. În acest sens, s-a optat pentru proiectarea unei mâini robotice umanoide în mediu virtual 3D [10], respectând toate specificațiile cinematice și dinamice ale unui sistem real. Ca metodă de control s-a dezvoltat o schemă de control hibrid forță-poziție bazată pe rețele neuronale pentru a studia, cu ajutorul simulatorului, mișcarea mâinii robotice pe parcursul închiderii și deschiderii degetelor [11, 12]. Schema de control a fost studiată și pentru cazul în care mâna robotică are de apucat un obiect, și s-a ajuns la concluzia că, indiferent de forma acestuia, mâna robotică realizează cu succes operația de prehensiune. Pentru validarea performanţelor mediului virtual de simulare, cu ajutorul metodei de proiecție virtuală [13], s-a implementat o schemă de control în poziție al structurii mecanice studiată, având la dispoziție sistemul de acționare al acesteia. Profitând de facilitățile oferite de metoda proiecției virtuale, implementarea legii de control s-a realizat pentru controlul fiecărei articulații în parte, lucru ce nu se poate realiza fizic pentru o mână cu specificațiile celei studiate. În urma acestui experiment s-a observat că între rezultatele simulării și rezultatele experimentale nu este diferență foarte mare, simulatorul creat fiind o opțiune în situația în care nu se poate construi un sistem experimental. Pentru controlul fizic al unei

structuri autorul a realizat o mână robotică, ce respectă detaliile constructive ale mâinii proiectate. Spre deosebire de mâna robotică proiectată in mediu virtual, cea reală este acționată de 5 tendoane cu ajutorul a 5 servomotoare. În urma experimentelor realizate, s-a observat că, în cazul acționării cu tendoane, dacă nu sunt luate în considerare aspectele dinamice ale tendoanelor, nu se poate realiza un control cu precizie ridicată a structurii mecanice.

Din studiile realizate s-a observat că procesul de prehensiune cuprinde mai multe etape: etapa de abordare a obiectului (în care brațul robotic se apropie de obiect), etapa de orientare a mâinii (mâna este poziționată în configurația necesară pentru a apuca obiectul), etapa de apucare a obiectului (degetele sunt strânse până în momentul în care stabilesc contactul cu obiectul), etapa de validare a prehensiunii (în care se verifică dacă toate degetele sunt în contact cu obiectul). În cadrul lucrării s-a propus o metodă de optimizare a procesului de prehensiune[14], prin care mâna robotică este capabilă să realizeze etapa de orientare simultan cu etapa de abordare a obiectului. Această metodă se bazează pe un algoritm de decizie care procesează datele provenite de la doi senzori, folosind logica neutrosofică și teoria Dezert-Smarandache, încadrează obiectul de apucat într-una din trei categorii alese pentru studiu, determinând astfel configurația mâinii pentru a prehensa categoria respectivă de obiecte. Algoritmul dezvoltat de autor oferă soluții în toate situațiile studiate și poate fi extins la o gamă mai largă de clase de obiecte.

Teza de doctorat conține rezultate în totalitate originale, obținute de autor în perioada stagiului de pregătire doctorală, vizând un domeniu de o importanță majoră în construirea roboților umanoizi, și nu numai a acestora, și anume îmbunătățirea controlului inteligent al mâinilor robotice umanoide. Cercetările nu s-au limitat doar la domeniul controlului mâinilor robotice antropomorfe, ci au fost abordate și subiecte de cercetare din domeniul controlului roboților mobili, ce pot fi aplicate cu ușurința la controlul mâinilor robotice. Importanța cercetărilor realizate, precum și corectitudinea lor, au fost validate prin punerea lor în dezbatere publică în reviste științifice și conferințe prestigioase din țară și din străinătate. În realizarea acestor lucrări s-au realizat colaborări cu profesori și cercetători importanți de la centre universitare și de cercetare cu renume pe plan mondial, cum ar fi: Prof. Hongnian YU de la Bournemouth University UK, pentru realizarea lucrărilor [11, 15-17], Prof Xianchao Zhao de la Universitatea Shanghai Jiao Tong, pentru realizarea lucrării [11], Prof. Vladimir Balan de la Universitatea Politehnica din București, pentru realizarea lucrării [19], Prof. Radu Ioan Munteanu, de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, pentru realizarea lucrării [20], Prof. Radu Adrian Munteanu, de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, pentru realizarea lucrării [10], Conf. Gabriela Tonț, de la Universitatea din Oradea, pentru lucrarea [15], Prof. Mircea Boșcoianu de la Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” Brașov, pentru lucrarea [21], CS Tudor Sireteanu de la Institutul de Mecanica Solidelor, pentru lucrarea [22], CS Doina Marin de la Institutul de Mecanica Solidelor, pentru lucrarea [23], CS Videa Emil de la Institutul de Mecanica Solidelor, pentru lucrarea [22].

Începând cu anul 2013, s-au început cercetările pe domeniul roboților de salvare în cadrul unui programului european FP7 IRSES, FP7-PEOPLE-2012 IRSES, "Real-time adaptive networked control of rescue robots- RABOT", cu doi parteneri din UK: Bournemouth University (coordonatorul proiectului) și Staffordshire University, și trei parteneri din China: Shanghai University, Yanshan University și Institutul de Automatizări al Academiei de Științe Chineze. Directorul de proiect este Prof. Hongnian Yu de la Bournemouth University din UK, iar din partea Institutului de Mecanica Solidelor al Academiei Române, coordonator este Profesorul Luige Vlădăreanu. Prin acest proiect, s-a început o colaborare strânsă între colectivele de cercetare ale partenerilor de proiect. În cadrul acestui proiect am participat ca membru al colectivului de cercetare de la Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române. Ca membru în echipa de cercetare, mi-au survenit ca sarcini, proiectarea în mediu virtual a robotului de salvare, ce face subiectul de cercetare al proiectului. Din 2014 fac parte din echipa de cercetare a proiectului "Platforma robot versatilă, inteligentă, portabilă cu sisteme de control în rețele adaptive pentru roboți de salvare - VIPRO" din programul național PNII, acceptat la finanțare pentru 2014-2016, având membri în echipa de cercetare profesori din UK, SUA și China, Director de proiect – Prof. dr. ing. Luige Vlădăreanu. Ca membru în echipa de cercetare, mi-au survenit ca sarcini, proiectarea în mediu virtual a structurii robotizate, ce face subiectul de cercetare al proiectului. De asemenea, sunt membru în echipa de cercetare implicată în propunerea unui proiect Internațional, "Research on human multi-joint arm information based bio-robot for telerobotics", ce face parte programul japonez "Brain Circulation", coordonat de Tokyo University, ce are parteneri din Bournemouth University (UK), Pascal Institute at the French Institute for Advanced Mechanics (FR), Imperial College London (UK). Activitățile realizate pentru această propunere s-au axat pe elaborarea studiilor privind proiectarea și simularea brațelor robotizate.

Lucrarea este structurată pe 8 capitole plus referințe bibliografice și 11 anexe.

2. Stadiul actual al cercetărilor privind controlul mişcării inteligente a sistemelor robotice de prehensiune.

În *capitolul 2* este prezentat stadiul actual în domeniul de cercetare al tezei de doctorat. În prima parte a capitolului se realizează o scurtă introducere în domeniul controlului inteligent. Ulterior sunt trecute în revistă principalele categorii de metode de control pentru mâini umanoide inteligente şi cele mai recente abordări în domeniul controlului sistemelor de prehensiune pentru roboţi [30-53]. În partea finală a capitolului sunt prezentate principalele problemele ce apar datorită structurii mâinilor robotice şi ce dificultăţi se ivesc în procesul de manipulare a obiectelor [54-99].

3. Dezvoltarea mediului de simulare 3D pentru mâna robotică antropomorfă

În *capitolul 3* este propusă o modalitate de a studia mişcarea sistemelor robotice fără costuri prea mari. În acest capitol este prezentată dezvoltarea unui mediu virtual pentru simularea unei mâini robotice. Structura este proiectată în mediu 3D folosind pachetul software Autodesk Inventor [106], ţinând cont de toţi parametrii constructivi ai unui model real. Ulterior modelul CAD este transferat în SimMechanics (pachet software inclus în Matlab/Simulink) [107], obţinându-se în final un mediu de simulare ce permite testarea oricărui tip de metodă de control, indiferent de complexitatea ei.

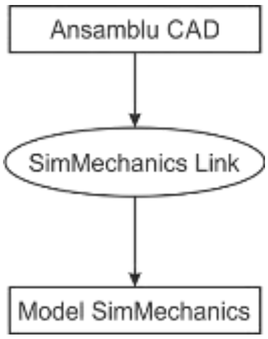


Fig. 3.2 Transferul din mediul CAD în mediul SimMechanics

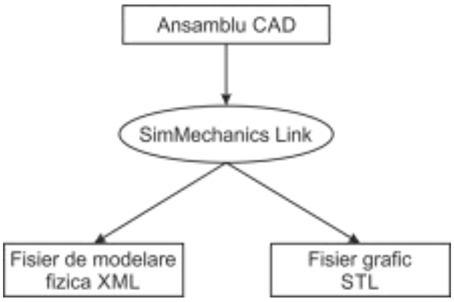


Fig. 3.3 Exportul ansamblului din mediul CAD

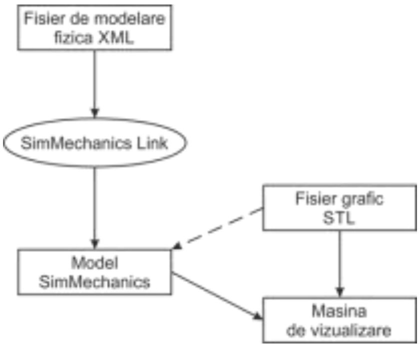


Fig. 3.4 Importul ansamblului CAD în SimMechanics

În urma transferului din mediul Autodesk Inventor în SimMechanics s-au păstrat proprietăţile dinamice ale modelului. În Autodesk Inventor, mâinii robotice i-a fost atribuit ca material constructiv ABS plastic, iar programul a calculat valorile dinamice şi cinematice pe baza proprietăţilor materialului.





Fig. 3.5 Datele tehnice ale motoarelor



Fig. 3.6 Traseele tendoanelor

Modelul 3D al mâinii robotice a fost proiectat în așa fel încât să respecte dimensiunile mâinii umane. Mâna robotică are 17 grade de libertate și a fost proiectată pentru a fi pusă în mișcare cu ajutorul a 5 servomotoare ce acționează fiecare deget în parte prin intermediul unor tendoane.

4. Controlul hibrid forță-poziție al sistemelor de prehensiune pentru mâini umanoide inteligente

Având dezvoltat mediul de simulare, în *capitolul 4*, este propusă o metodă de control hibrid forță-poziție (fig. 4.2) ce folosește rețele neuronale pentru a rezolva problema de cinematică inversă și cea de dinamică inversă. S-a dovedit că rețelele neuronale reprezintă o variantă viabilă pentru controlul în timp real deoarece oferă soluție la problemele studiate în timp foarte scurt, comparativ cu rezolvarea lor analitică. Schema de control este folosită pentru a testa și observa mișcarea de strângere a degetelor mâinii robotice dezvoltată în mediu virtual în capitolul anterior. Schema de control propusă a fost folosită și pentru a studia mișcarea mâinii în situația când are de prins un obiect și s-a observat că această metodă poate fi folosită cu succes la apucarea obiectelor, indiferent de forma obiectului.

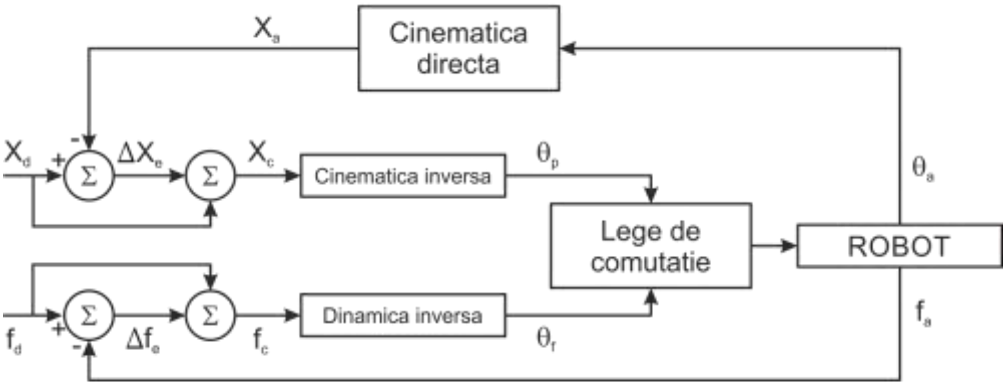


Fig. 4.2 Schema de control hibrid forță-poziție propusă

Pentru rezolvarea cinematicii inverse s-a folosit o rețea neuronală multistrat cu propagare înainte [136,137]. Rețeaua neuronală folosită are în componență un strat de intrare cu 3 neuroni, două straturi ascunse cu 12, respectiv, 6 neuroni și un strat de ieșire cu 3 neuroni. Antrenarea s-a desfășurat pe parcursul a 1000 iterații și s-au folosit seturi de 106 date eșantion. Procesul de antrenare a durat $19s$ și s-a obținut o valoare minimă a erorii de $4.15 \cdot 10^{-7}$. Pentru rezolvarea dinamicii inverse s-a folosit același tip de rețea neuronală. Rețeaua este compusă dintr-un strat de intrare cu 3 neuroni, două straturi ascunse cu 60, respectiv 30 neuroni și un strat de ieșire cu 3 neuroni. Antrenarea s-a realizat pe parcursul a 1000 iterații. Eroarea de antrenare a atins valoarea minimă de $1.99 \cdot 10^{-7}$. Procesul de antrenare a durat $26\ min\ 8s$ și s-au folosit seturi de 106 date eșantion.

Implementând schema de control propusă pentru controlul mâinii robotice proiectată în mediu virtual, s-a obținut o eroare maximă de poziționare de $2.5\ mm$, în cazul aplicării ambelor bucle de control. Analizând cuplul necesar pentru a mișca degetele mâinii, comparând referința de cuplu cu cuplul real aplicat în articulații se observa o eroare de cuplu foarte mare, de ordinul $10^{-5}Nm$, dar după ce sistemul este pus în mișcare această eroare scade foarte mult, ajungând de ordinul $10^{-8}Nm$.

Aplicând schema de control pentru controlul mișcării mâinii cu scopul de a prinde un obiect, în momentul contactului cu acesta s-a observat o forță maximă de aproximativ $3N$, care a scăzut la aproximativ $1N$ pentru a menține obiectul prehensat.

Reţelele neuronale îşi dovedesc în principal utilitatea în rezolvarea unor probleme dificile, cum sunt cele de estimare, identificare şi predicţie sau de optimizare complexă.

5. Experimentări privind controlul mâinii robotice

În *capitolul 5* sunt prezentate două experimente. Unul are ca scop validarea performanțelor mediului de simulare, pe care l-am dezvoltat, folosind metoda proiecției virtuale, implementând o schemă de control în poziție pentru controlul mișcării de închidere a degetelor mâinii robotice studiată în lucrare. Metoda de proiecție virtuală a fost dezvoltată de Prof.dr.ing. Luige Vlădăreanu și propusă pentru brevetare în anul 2009 [13]. Această metodă permite testarea în timp real a unei game largi de metode de control, nefiind necesară existența fizică a structurii mecanice ce trebuie controlată, ci doar a sistemului de acționare. Având în vedere faptul că experimentarea folosește un model virtual al mâinii robotice, s-a putut

realiza controlul individual al articulațiilor, aspect imposibil de realizat cu o structura mecanică reală deoarece servomotoarele nu pot fi montate direct pe articulațiile degetelor.

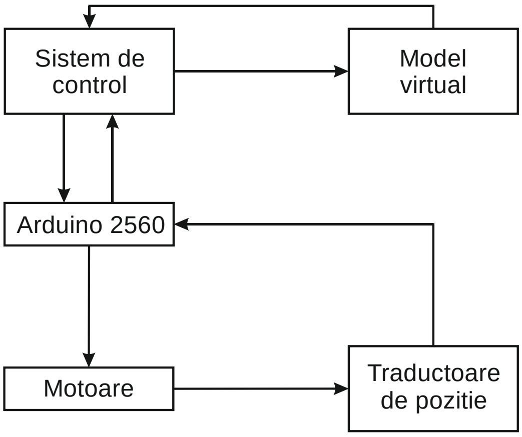


Fig. 5.3 Aplicarea metodei de proiecție virtuală

În cadrul experimentului realizat, pentru îndeplinirea sarcinii ce trebuia realizată de sistemul robotic (strângerea mâinii) nu apăreau modificări dinamice, astfel că rezultatele obținute sunt foarte bune. Erorile de poziționare, la nivelul articulațiilor, erau de maxim $\pm 1°$, implicând o eroare maximă de poziționare a vârfului degetelor de aproximativ 2.5 mm. Metoda de control propusă poate fi aplicată, după cum s-a observat, în aplicații de control real. Problema cea mai mare în implementarea schemei pentru controlul în timp real provenea de la găsirea soluțiilor sistemului de ecuații pentru cinematica inversă, dar această problemă a fost rezolvată, folosindu-se o rețea neuronală, care reducea timpul de furnizare a soluției de la 1.18 secunde, în cazul rezolvării analitice a sistemului de ecuații, la 12 milisecunde, în cazul metodei neuronale.

Cel de-al doilea experiment s-a realizat pe o mână robotică construită de autor (fig. 5.8) urmărind specificațiile constructive ale mâinii proiectate în mediu virtual. Structura reală este pusă în mișcare prin intermediul a 5 tendoane, câte unul pentru fiecare deget. Tendoanele sunt acționate individual de câte un servomotor. În cadrul experimentului s-a observat că modelul matematic al schemei de control se complică, deoarece trebuie ținut cont și de lungimea tendonului în generarea semnalului de control transmis la actuatoare. Datorită faptului că, la implementarea legii de control, tendonul s-a considerat a fi inelastic, s-a obținut o eroare mai mare de poziționare în comparație cu eroarea obținută în cadrul primului experiment.

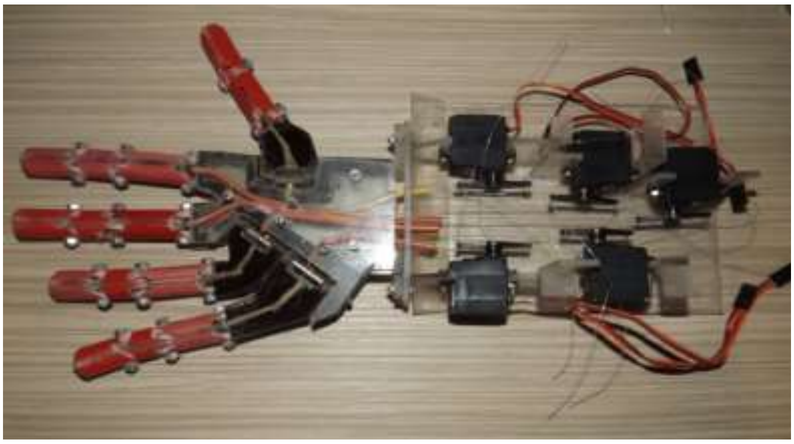


Fig. 5.8 Modelul experimental

În urma experimentului bazat pe acționarea cu tendoane a mâinii robotice s-a observat că mișcarea realizată de degete este mai mică decât în cazul acționării independente a articulațiilor degetelor. Eroarea maximă de poziționare obținută în cazul în care articulațiile degetelor erau acționate independent (aproximativ 2.5 mm) este mai mică decât în cazul acționarii folosind tendoane (aproximativ 3.5 mm). Această diferență apare datorită faptului că în generarea semnalului de control nu s-a ținut cont de elasticitatea tendoanelor, acestea fiind considerate a fi rigide, dar și datorită conversiei din digital în analog a semnalului transmis la motor și a conversiei din analog în digital a semnalului recepționat de la traductoarele de poziție.

Cu toate că acționarea mâinilor robotice cu ajutorul tendoanelor complică modelarea cinematică și dinamică, acestea sunt folosite des la mâinile robotice antropomorfe deoarece este dificilă poziționarea motoarelor în articulațiile degetelor. Totodată, folosind acționarea prin tendoane se poate realiza o mână robotică ce realizează mișcări mult mai apropiate de mâna umană.

6. Optimizarea procesului de prehensiune

În *capitolul 6* este propusă o metodă de optimizare a procesului de prehensiune (fig. 6.1), în sensul că pentru apucarea obiectului se selectează o taxonomie ce depinde de forma acestuia. Această operație de preconfigurare a degetelor se realizează în timpul abordării obiectului (faza în care brațul robotic se apropie de obiectul țintă), scurtând timpul de îndeplinire a sarcinii de manipulare. Metoda propusă are ca scop încadrarea obiectului țintă în trei categorii de obiecte denumite generic după forma acestora, respectiv, sferă, paralelipiped și cilindru. Aceste trei categorii corespund unor taxonomii de prindere [215] întâlnite cel mai des în aplicațiile practice, și anume prindere sferică, prindere prismatică, respectiv, prindere cilindrică.

Metoda propusă oferă soluții în toate cazurile analizate și poate fi extinsă cu succes pentru situațiile în care datele sunt achiziționate de la mai multe surse sau decizia ce trebuie luată depinde de mai mulți factori.

Algoritmul de decizie, bazat pe logica neutrosofică și teoria Dezert-Smarandache [221-225], analizează probabilitățile de îndeplinire a tuturor stărilor posibile ce pot apare la fuziunea informațiilor provenite de la cei doi senzori (fig. 6.7) și tratează aceste posibilități astfel încât să se ajungă la o decizie în orice situație.

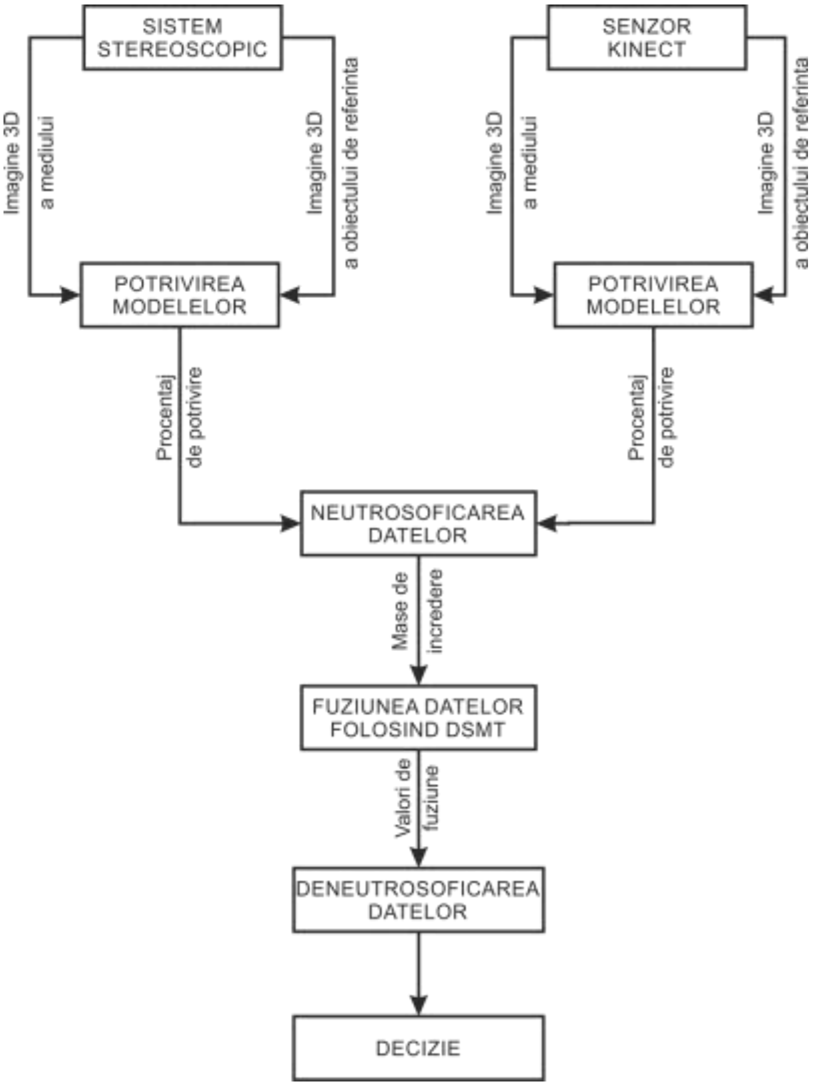


Fig. 6.1 Schema generală a algoritmului propus

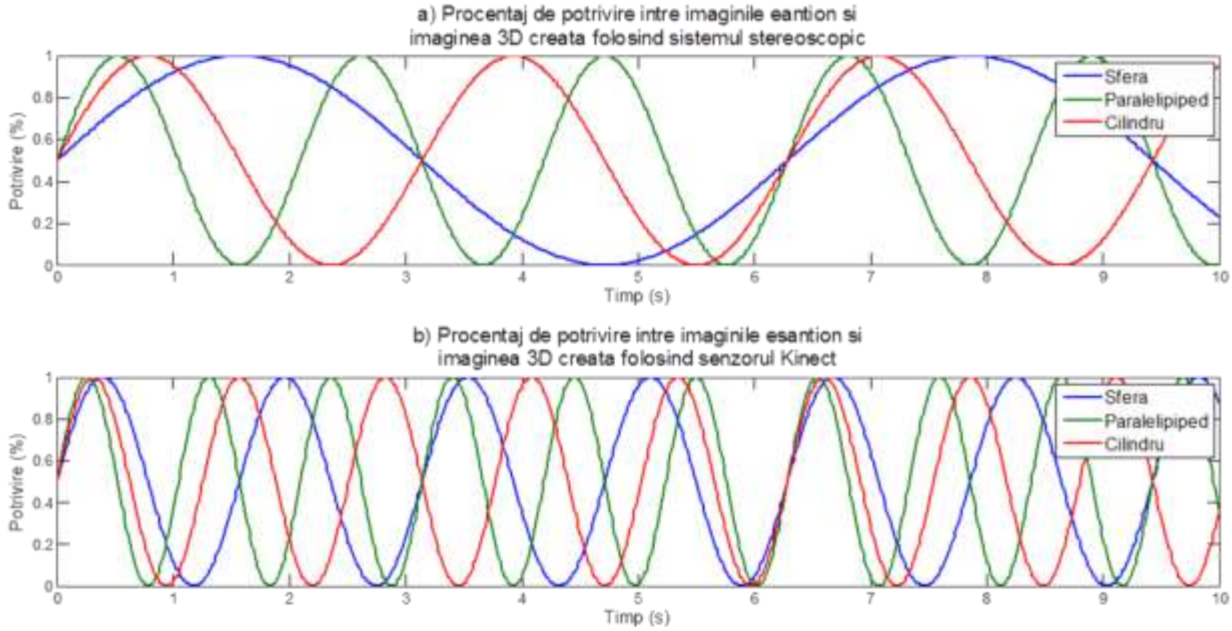


Fig. 6.7 Informațiile oferite de cei doi senzori

Metoda prezentată poate fi folosită cu succes în aplicații de timp real, aceasta oferind o decizie în aproape toate situațiile (fig. 6.11), într-un timp foarte scurt, (timpul mediu de execuție a algoritmului a fost de 14 ms). Algoritmul poate fi extins, astfel încât să trateze informațiile provenite de la mai multe surse, sau să ofere o decizie pornind de la un număr mai mare de stări în care se poate regăsi sistemul analizat. Numărul de surse nu este limitat, și nici cel al stărilor sistemului, dar cu cât acestea sunt mai multe cu atât cantitatea de calcul este mai mare și proiectarea algoritmului de decizie devine o sarcină din ce în ce mai complexă.

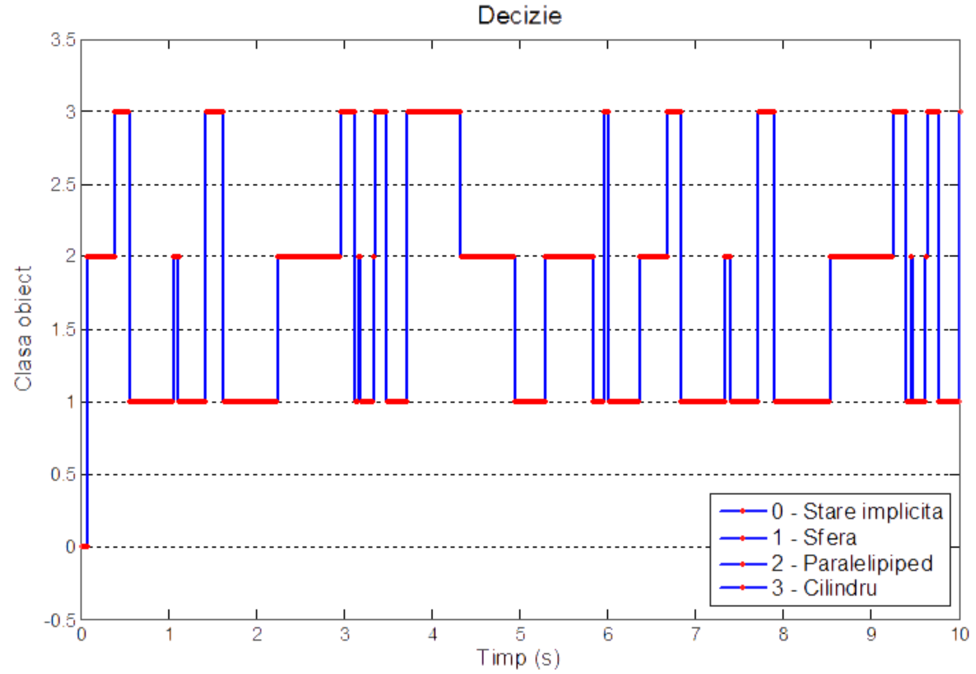


Fig. 6.11. Decizia luată de algoritm

În cazul roboților autonomi, aceștia trebuie învățați ce au de făcut și cum să ducă la capăt sarcina de îndeplinit. De aici apare necesitatea dezvoltării unor sisteme inteligente de raționare. Algoritmul dezvoltat în acest capitol poate fi folosit cu succes pentru aplicațiile de identificare a țintelor, de sortare a obiectelor, etichetare a imaginilor, urmărire a mișcării, evitare a obstacolelor, detecție a muchiilor, etc.

7. Contribuţii originale.

În urma studiilor și cercetărilor realizate pe parcursul stagiului doctoral s-au obținut o serie de rezultate originale în domeniul controlului sistemelor de prehensiune pentru roboți și al mâinilor robotice umanoide. Dintre cele mai importante contribuții se pot enumera:

1. Realizarea unui studiu bibliografic vast și de actualitate în domeniul proiectării și controlului sistemelor de prehensiune pentru roboți și mâini umanoide inteligente care a demonstrat interesul global asupra domeniului tezei de doctorat;
2. Elaborarea unei metode de proiectare și simulare în mediu virtual a sistemelor de prehensiune pentru roboți și mâini umanoide pentru testarea comportamentului cinematic și dinamic în diferite condiții de operare, rezultând un mediu de simulare complet pentru sisteme robotice, indiferent de complexitatea lor, ce permite studierea unei game largi de legi de control;
3. Proiectarea unei mâini robotice umanoide ce a fost implementată în mediul de simulare, menționat anterior, cu scopul de a-i studia mişcarea pe parcursul operațiilor de închidere a degetelor, respectiv prindere a unui obiect;
4. Dezvoltarea unei metode originale de control hibrid forță-poziție pentru controlul sistemelor de prehensiune pentru roboți și mâini umanoide inteligente. Pentru aceasta:
   - s-au modelat cinematic și dinamic degetele mâinii robotice;
   - s-au dezvoltat programe software originale pentru modelarea cinematică și dinamică a degetelor mâinii;
   - s-a dezvoltat o nouă schemă de control hibrid forță-poziție bazată pe rețele neuronale
   - s-a proiectat și implementat câte o rețea neuronală pentru a rezolva problemele de cinematică inversă, respectiv dinamică inversă;
   - s-a implementat schema de control în mediul de simulare creat cu scopul de a studia mişcarea mâinii pentru operațiile de închidere a degetelor, respectiv prindere a unui obiect;
   - s-a dezvoltat un program software original pentru implementarea schemei de control hibrid forță poziție pentru sisteme de prehensiune pentru roboți și mâini umanoide inteligente;
5. Validarea performanţelor mediului de simulare creat folosind metoda proiecției virtuale:
   - dezvoltarea unei metode de control cinematic pentru mâna robotică proiectată în mediu virtual
   - dezvoltarea unui program software pentru implementarea în timp real a schemei de control cinematic, folosind metoda proiecției virtuale
6. Construirea unui model experimental real al mâinii robotice proiectată în mediul virtual
7. Dezvoltarea și implementarea unei legi de control în poziție pentru modelul experimental, ce se deosebește de cea dezvoltată la punctul 5 prin faptul că modelul experimental este acționat prin tendoane, și prin urmare modelul matematic este diferit.
8. Elaborarea unei metode originale de optimizare a procesului de prehensiune ce presupune un algoritm de preconfigurare a mâinii robotice, în funcție de forma obiectului:
   - dezvoltarea și implementarea software a unei metode de simulare a unei game cât mai largi de posibile informații ce pot proveni de la cei doi senzori referitoare la stările în care se poate găsi mediul de lucru analizat
   - dezvoltarea și implementarea software a unui algoritm de obținere a valorilor de încredere generalizată, bazat pe logica neutrosofică
   - dezvoltarea și implementarea software a unui algoritm de obținere a valorilor de fuziune folosind teoria Dezert-Smarandache
   - dezvoltarea și implementarea software a unui algoritm de decizie ce procesează valorile de fuziune menționate anterior și încadrarea obiectului țintă într-o clasă de referință

Cercetările și studiile realizate pe parcursul stagiului de pregătire doctorală au stat la baza dezvoltării unui număr de 16 lucrări științifice publicate la conferințe și reviste naționale și internaționale, validând astfel rezultatele obținute. Dintre aceste lucrări, una este în curs de publicare în jurnalul Advanced Robotics, care este indexat ISI și are factor de impact 0.569, o lucrare a fost acceptată pentru susținere la conferința ROBOTICS 2014, care este indexată ISI, 6 lucrări sunt indexate BDI, 8 lucrări au fost susținute la conferințe organizate de Academia Română. Din aceste 16 lucrări, 8 lucrări au fost publicate sau sunt în curs de publicare ca prim autor, iar la 8 lucrări am fost co-autor.

Importanța și actualitatea subiectelor de cercetare abordate în lucrare au prezentat interes colectivelor naționale și internaționale de cercetare, aspect dovedit de colaborările realizate cu profesori de prestigiu de la universități și centre de cercetare din țară și din străinătate, precum: Prof. Hongnian YU

[11,15-17] de la Bournemouth University UK, Prof Xianchao Zhao [11] de la Universitatea Shanghai Jiao Tong, Prof. Vladimir Balan [19] de la Universitatea Politehnica din București, Prof. Radu Ioan Munteanu [20] și Prof. Radu Adrian Munteanu [10], de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Conf. Gabriela Tonț [15] de la Universitatea din Oradea, Prof. Mircea Boșcoianu [21] de la Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă" Brașov, CS Tudor Sireteanu [22], CS Doina Marin [23], CS Videa Emil [22] de la Institutul de Mecanica Solidelor.

Lista completă a lucrărilor publicate este prezentată în cele ce urmează:

Lucrări indexate ISI:

1. **Dănuț Bucur**, Luige Vlădăreanu, Hongnian Yu, Xianchao Zhao, Ștefan Dumitru, „Hybrid force-position humanoid hand control in 3d virtual environment", Acceptat spre publicare Robotics 2014.
2. **Dănuț Bucur**. Alexandru Gal, „Robot Hand Grasp Configuration Deciding Algorithm Based on DSmT", În curs de publicare Advanced Robotics, indexare ISI, factor de impact 0.569

Lucrări indexate BDI:

3. Vlădăreanu, L., Tont, G., Hongnian Yu, **Bucur, D.A.**, *"The petri nets and markov chains approach for the walking robots dynamical stability control"*, International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), Zhengzhou, China, August 2011, pp. 228 – 233, ISBN: 978-1-4577-1698-0
4. Ștefan A. Dumitru, **Dănuț A. Bucur**, Vladimir Balan, Obstacle detection in robot vision using an improved optical low algorithm, The V-th International Conference of Differential Geometry and Dynamical Systems, Bucharest, Romania, October 2011
5. Ștefan Adrian Dumitru, **Dan Bucur**, Doina Marin, "*Methods and Algorithms for Motion Control of Walking Mobile Robot with Obstacle Avoidance*", Proceedings of the European Computing Conference, Paris, France, April 2011, pp. 404-409, ISBN: 978-960-474-297-4
6. **Dănuț A. Bucur**, Ștefan A. Dumitru, "*Genetic Algorithm for Walking Robots Motion Optimization*", Recent Researches in System Science, Corfu, Greece, July 2011, pp.364-369, ISBN: 978-1-61804-023-7
7. Ștefan A. Dumitru, **Dănuț A. Bucur**, "*Walking Robot Method Control Using Artificial Vision*", Recent Researches in System Science, Corfu, Greece, July 2011, pp.370-375, ISBN: 978-1-61804-023-7
8. Șt.A.Dumitru, **D.A.Bucur**, M.Boscoianu, L.Vlădăreanu,Intelligent exoskeleton structures for military applications, Latest Advances in Information Science, Circuits and Systems Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing (EC12), Iasi, Romania, 13-15 iunie 2012, pp. 122-127, ISSN: 1790-5109, ISBN: 978-1-61804099-2.

Lucrări publicate la Conferințe Naționale:

9. **Dănuț A. BUCUR**, Hongnian YU, Luige VLĂDĂREANU, Ștefan A. DUMITRU, "*Genetic Algorithm For Walking Robots Power Optimization*", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2011, Bucharest, Romania
10. **Dănuț A. BUCUR**, Hongnian YU, Luige VLĂDĂREANU, Ștefan A. DUMITRU, "*Intelligent Control of Walking Mobile Robot with Obstacle Avoidances*", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2011, Bucharest, Romania
11. **Dănuț A. Bucur**, Ștefan A. Dumitru, Luige Vlădăreanu, "*Inverse Kinematics For A 3-Dof Planar Manipulator Using Neural Networks*", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2012, Bucharest, Romania
12. Ștefan Dumitru, Luige Vlădăreanu, **Dan Bucur**, „*Obstacle Avoidance Intelligent Robot Control Method Based On Optical Flow And Neural*", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2012, Bucharest, Romania
13. **Dănuț Bucur**, Ștefan Dumitru, Luige Vlădăreanu, Radu Adrian Munteanu," *Humanoid robotic hand modeling in virtual environment*", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2013, Bucharest, Romania.
14. Dumitru Ștefan, Luige Vlădăreanu, Radu I. Munteanu, **Dănuț Bucur**, "*Obstacle avoidance method based on neutrosophic logic*", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2013, Bucharest, Romania
15. **Bucur A. D.**, Dumitru A. Şt. (IMSAR, Bucharest) Humanoid Hand Control in 3D Environment. The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2014, Bucharest, Romania.
16. Videa E.M., Sireteanu T., **Bucur D.A.**, Dumitru Şt.A. (IMSAR, Bucharest) Designing a set of optimized Stockbridge type dampers for controlling the overhead line vibrations induced by the

wind. Part two: Experimental optimization and characterization of some new models. The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2014, Bucharest, Romania.

De asemenea, pe parcursul pregătirii doctorale am fost cooptat pentru a face parte din echipele de cercetare a 2 proiecte internaționale:

1. „Real-time adaptive networked control of rescue robots”, acronim RABOT, 2012-2015, 7th Framework Program for Research, Project Marie Curie, International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), coordonator: Staffordshire University, UK, parteneri: Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române, Bournemouth University UK, Shanghai Jiao Tong University CN, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences CN, Yanshan University CN, Prof. Hongnian Yu, UK - coordonator proiect, Prof. Luige Vlădăreanu coordonator IMSAR, **Dănuț Adrian Bucur** - membru în proiectul FP7. Ca membru în echipa de cercetare, mi-au survenit ca sarcini, proiectarea în mediu virtual a robotului de salvare, ce face subiectul de cercetare al proiectului.
2. „Platforma robot versatilă, inteligentă, portabilă cu sisteme de control în rețele adaptive pentru roboți de salvare – VIPRO” din programul național PNII, acceptat la finanțare pentru 2014-2016, Director de proiect – Prof. dr. ing. Luige Vlădăreanu, **Dănuț Adrian Bucur** – membru în proiectul FP7. Ca membru în echipa de cercetare, mi-au survenit ca sarcini, proiectarea în mediu virtual a structurii robotizate, ce face subiectul de cercetare al proiectului.

8. Concluzii.

Studiul și îmbunătățirea metodelor de control pentru mișcarea sistemelor de prehensiune pentru roboți și mâini umanoide inteligente reprezintă *scopul principal* al prezentei teze de doctorat. În acest sens s-a realizat un *studiu aprofundat* al cercetărilor în domeniul structurilor mecanice al sistemelor de prehensiune și cel al controlului acestor structuri.

Contribuțiile aduse prin această lucrare domeniului controlului inteligent, concentrat pe controlul mâinilor umanoide inteligente constau în *dezvoltarea unui mediu de simulare* pentru controlul acestor sisteme, *am propus și testat o metodă de control hibrid forță-poziție*, folosind *metoda proiecției virtuale* am validat performanțele *mediului de simulare dezvoltat* și *am propus o metodă de optimizare a procesului de prehensiune* prin selectarea taxonomiei corespunzătoare formei obiectului de prehensat.

Dezvoltarea metodelor de control pentru structurile robotizate, pe lângă abordarea teoretică, presupune și testarea acestora, fapt pentru care este necesar un model experimental al sistemului de controlat. Pentru subiectul abordat în lucrare, *am proiectat în mediu virtual o mână robotică antropomorfă* ce se aseamănă, din punct de vedere al dimensiunilor, cu mâna umană. Mâna robotică a fost proiectată astfel încât să poată fi realizată fizic folosind tehnologia de imprimare 3D, așadar modelului 3D i s-a atribuit ca material ABS plastic (material folosit de imprimantele 3D) și astfel modelul virtual a căpătat toți parametrii dinamici. Acest aspect permite testarea legilor de control fără a fi necesar un model experimental construit fizic, ce ar implica cheltuieli considerabile. De aici a apărut *necesitatea dezvoltării unui mediu de simulare* ce permite testarea cu succes a unei game largi de legi de control, singura limitare provenind de la capacitățile sistemului de calcul.

Cu ajutorul acestui mediu de simulare *am implementat o schemă de control hibrid forță-poziție* pentru *controlul mâinii robotice proiectată în mediu virtual*. Scopul a fost acela de a studia comportamentul mâinii pe parcursul operațiilor de închidere a degetelor, respectiv, de apucare a unui obiect. Schema de control folosește două rețele neuronale, una pentru a rezolva problema cinematică inversă și cealaltă pentru a rezolva problema dinamică inversă. Prin simulările realizate am dovedit că rețelele neuronale reprezintă o soluție viabilă pentru controlul în timp real. Rezolvarea problemelor de cinematică inversă, respectiv dinamică inversă, se face mult mai repede folosind rețelele neuronale decât prin rezolvarea analitică a sistemelor de ecuații.

Pentru a valida performanțele mediului de simulare dezvoltat, folosind metoda proiecției virtuale, *am realizat un studiu experimental*, implementând o *schemă de control cinematic* pentru mâna proiectată în mediu virtual. Metoda proiecției virtuale permite testarea legilor de control în timp real, fără a avea sistemul construit fizic. Folosind această tehnică, metoda de control este transmisă la un modul de comandă și control ce transmite semnalul de referință către actuatoare. Cu ajutorul unor senzori se citește poziția la care au ajuns motoarele și informația este transmisă către o interfață virtuală prin care se pune în mișcare modelul proiectat în mediu 3D. De aici sunt măsurate pozițiile articulațiilor sistemului studiat și cu ajutorul lor se închide bucla de control. Diferența între rezultatele obținute prin simulare și rezultatele experimentale este foarte mică, de unde se trage concluzia că mediul de simulare poate fi folosit cu încredere. De asemenea *am construit un model experimental* pornind de la specificațiile mâinii proiectată

în mediu virtual. Diferența între controlul realizat prin metoda proiecției virtuale și cel al modelului experimental provine de la faptul că acesta din urmă este acționat prin tendoane și prin urmare modelul cinematic diferă deoarece trebuie ținut cont de lungimea tendoanelor în generarea semnalului de comandă al motoarelor. În urma experimentului s-a obținut o eroare mai mare decât în situația experimentării cu metoda proiecției virtuale. Această diferență provine de la faptul că, în dezvoltarea modelului de control pentru modelul experimental s-a considerat că tendoanele sunt inelastice. Acționarea prin tendoane, este des întâlnită la mâinile robotice antropomorfe deoarece permite construirea unei structuri care să realizeze mișcări foarte apropiate de cele ale mâinii umane.

În finalul lucrării *am propus un algoritm de optimizare a procesului de prehensiune* prin configurarea degetelor mâinii în funcție de forma obiectului. Din studiile realizate am observat că fiecărui obiect îi corespunde o taxonomie de prindere ce depinde de forma acestuia. În cadrul metodei propuse, am considerat că mediul de operare al robotului este captat cu un sistem stereoscopic și cu un senzor Kinect. Cu ajutorul datelor provenite de la acești senzori se creau două imagini virtuale 3D ale mediului de lucru. În aceste imagini se izola obiectul țintă și era comparat cu un set de imagini eșantion. Pentru a demonstra funcționarea algoritmului, am ales trei taxonomii de prindere și fiecăreia i-am atribuit o clasă geometrică ce înglobează forma obiectului ce se poate prinde folosind o anumită taxonomie. Ulterior, cu ajutorul unui algoritm de potrivire a modelelor, se obținea un procentaj de potrivire între obiectul țintă și cele trei imagini eșantion. Toate aceste etape (captarea imaginilor din mediu, izolarea obiectului, compararea cu imaginile eșantion) le-am considerat deja dezvoltate în literatura de specialitate, scopul fiind acela de a dezvolta un algoritm de decizie care să proceseze aceste informații. Procentajele de potrivire erau procesate cu un algoritm de neutrosoficare pentru a obține masele de încredere generalizate folosite ca intrare pentru un algoritm ce aplica teoria Dezert-Smarandache. După aplicarea acestei teorii se obțin valori de fuziune pentru fiecare stare posibilă în care se poate găsi sistemul studiat. Pe baza acestor valori de fuziune, cu ajutorul unui algoritm de decizie, dezvoltat de autor, obiectul țintă este încadrat într-una din categoriile căutate, determinându-se astfel taxonomia de prehensiune optimă. Această metodă poate fi folosită cu succes pentru aplicații în timp real, timpul de generare a deciziei fiind foarte scurt.

Importanța și actualitatea subiectelor de cercetare abordate în lucrare *au prezentat interes colectivelor naționale și internaționale de cercetare*, aspect dovedit de colaborările realizate cu profesori de prestigiu de la universități și centre de cercetare din țară și din străinătate, precum: Prof. Hongnian YU [11, 15-17] de la Bournemouth University UK, Prof Xianchao Zhao [11] de la Universitatea Shanghai Jiao Tong, Prof. Vladimir Balan [19] de la Universitatea Politehnica din București, Prof. Radu Ioan Munteanu [20] și Prof. Radu Adrian Munteanu [10], de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Conf. Gabriela Tonț [15] de la Universitatea din Oradea, Prof. Mircea Boșcoianu [21] de la Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă" Brașov, CS Tudor Sireteanu [22], CS Doina Marin [23], CS Videa Emil [22] de la Institutul de Mecanica Solidelor.

De asemenea, pe parcursul pregătirii doctorale am fost cooptat pentru a face parte din echipele de cercetare a 2 proiecte internaționale:

1. Real-time adaptive networked control of rescue robots, acronim RABOT, 2012-2015, 7th Framework Program for Research, Project Marie Curie, International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), coordonator: Staffordshire University, UK, parteneri: Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române, Bournemouth University UK, Shanghai Jiao Tong University CN, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences CN, Yanshan University CN, Prof. Hongnian Yu, UK - coordonator proiect, Prof. Luige Vlădăreanu coordonator IMSAR, **Dănuț Adrian Bucur** - membru în proiectul FP7. Ca membru în echipa de cercetare, mi-au survenit ca sarcini, proiectarea în mediu virtual a robotului de salvare, ce face subiectul de cercetare al proiectului.
2. „Platforma robot versatilă, inteligentă, portabilă cu sisteme de control în rețele adaptive pentru roboți de salvare – VIPRO" din programul național PNII, acceptat la finanțare pentru 2014-2016, Director de proiect – Prof. dr. ing. Luige Vlădăreanu, **Dănuț Adrian Bucur** – membru în proiectul FP7. Ca membru în echipa de cercetare, mi-au survenit ca sarcini, proiectarea în mediu virtual a structurii robotizate, ce face subiectul de cercetare al proiectului.

Cercetările prezentate în această lucrare de doctorat pot fi continuate prin modelarea întregului braț robotic și testarea unor legi de control. De asemenea poate fi dezvoltat un sistem de interacțiune om-mașină pentru a implementa algoritmul de optimizare propus în lucrare, și folosind metoda proiecției virtuale, să se studieze întreg procesul de prehensare și manipulare a unui obiect astfel încât să se obțină un pachet de proceduri pentru ca brațul robotic modelat să poată fi implementat cu ușurința pe orice sistem robotic.

9. Anexe

În **Anexa 1** este reprezentată mâna robotică studiată, proiectată în mediu virtual.

Anexa 2 ilustrează componentele mâinii robotice și proprietățile constructive ale acesteia

În **Anexa 3** este reprezentată mâna robotică studiată în mediul de simulare.

În **Anexa 4** este prezentat algoritmul Maple pentru obținerea ecuațiilor cinematice.

În **Anexa 5** este prezentată modelarea dinamică a degetului mare al mâinii robotice

În **Anexa 6** este prezentat algoritmul Maple pentru obținerea ecuațiilor dinamice.

Anexa 7 detaliază modul de implementare a schemei de control hibrid forță-poziție pentru mâna robotică în mediul virtual, pentru operația de închidere a degetelor.

Anexa 8 detaliază modul de implementare a schemei de control cinematic folosind metoda proiecției virtuale.

Anexa 9 detaliază modul de implementare a schemei de control cinematic pentru mâna robotică cu actionări multiple.

În **Anexa 10** este prezentat algoritmul Matlab pentru neutrosoficarea datelor provenite de la observatori.

În **Anexa 11** este prezentat algoritmul Matlab pentru luarea deciziei în urma fuziunii datelor.

10. Bibliografie selectivă

[10] Danut Bucur, Stefan Dumitru, Luige Vladareanu, Radu Adrian Munteanu," Humanoid robotic hand modeling in virtual environment", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2013, Bucharest, Romania.

[11] Dănuț Bucur, Luige Vlădăreanu, Hongnian Yu, Xianchao Zhao, Ștefan Dumitru, „Hybrid force-position humanoid hand control in 3d virtual environment", Acceptat spre publicare Robotics 2014.

[12] Bucur A. D., Dumitru A. Şt. (IMSAR, Bucharest) Humanoid Hand Control in 3D Environment. The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2014, Bucharest, Romania.

[13] Vlădăreanu L., L. M. Velea, R. Munteanu, A. Curaj, S. Cononovici, T. Sireteanu, L. Capitanu, MS Munteanu, Real time control method and device for robot in virtual projection, Patented Invention EU, no. EPO-09464001, 2009

[14] Dănuț Bucur. Alexandru Gal, „Robot Hand Grasp Configuration Deciding Algorithm Based on DSmT", În curs de publicare Advanced Robotics, indexare ISI, factor de impact 0.569

[15] Vladareanu, L., Tont, G., Hongnian Yu, Bucur, D.A., "The petri nets and markov chains approach for the walking robots dynamical stability control", International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), Zhengzhou, China, August 2011, pp. 228 – 233, ISBN: 978-1-4577-1698-0

[16] Danut A. BUCUR, Hongnian YU, Luige VLĂDĂREANU, Stefan A. DUMITRU, "Genetic Algorithm For Walking Robots Power Optimization", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2011, Bucharest, Romania

[17] Danut A. BUCUR, Hongnian YU, Luige VLĂDĂREANU, Stefan A. DUMITRU, "Intelligent Control of Walking Mobile Robot with Obstacle Avoidances", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2011, Bucharest, Romania

[19] Stefan A. Dumitru, Danut A. Bucur, Vladimir Balan, "Obstacle detection in robot vision using an improved optical flow algorithm", The V-th International Conference of Differential Geometry and Dynamical Systems, Bucharest, Romania, October 2011

[20] Dumitru Stefan, Luige Vladareanu, Radu I. Munteanu, Danut Bucur, "Obstacle avoidance method based on neutrosophic logic", The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics 2013, Bucharest, Romania

[21] St.A.Dumitru, D.A.Bucur, M.Boscoianu, L.Vladareanu,Intelligent exoskeleton structures for military applications, Latest Advances in Information Science, Circuits and Systems Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing (EC12), Iasi, Romania, 13-15 iunie 2012, pp. 122-127, ISSN: 1790-5109, ISBN: 978-1-61804099-2.

[22] Videa E.M., Sireteanu T., Bucur D.A., Dumitru Şt.A. (IMSAR, Bucharest) Designing a set of optimized Stockbridge type dampers for controlling the overhead line vibrations induced by the wind. Part two: Experimental optimization and characterization of some new models.

[23] Stefan Adrian Dumitru, Dan Bucur, Doina Marin, "Methods and Algorithms for Motion Control of Walking Mobile Robot with Obstacle Avoidance", Proceedings of the European Computing Conference, Paris, France, April 2011, pp. 404-409, ISBN: 978-960-474-297-4

[30] Arimoto, Suguru. "Modeling and Control of Multi-Body Mechanical Systems: Part II Grasping under Rolling Contacts between Arbitrary Shapes." Advances in the Theory of Control, Signals and Systems with Physical Modeling. Springer Berlin Heidelberg, 2011. 17-29

[31] Lippiello, V., Siciliano, B., & Villani, L. (2011, June). A grasping force optimization algorithm with dynamic torque constraints selection for multi-fingered robotic hands. In American Control Conference (ACC), 2011 (pp. 1118-1123). IEEE.

[32] Kenji Tahara, Suguru Arimoto, and Morio Yoshida. Dynamic object manipulation using a virtual frame by a triple soft-fingered robotic hand. In Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on , pages 4322–4327. IEEE, 2010.

[33] Kenji Tahara, Keigo Maruta, Akihiro Kawamura, and Motoji Yamamoto. Externally sensorless dynamic regrasping and manipulation by a triple-fingered robotic hand with torsional fingertip joints. In Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on , pages 3252–3257. IEEE, 2012
[34] Fukui, W.; Kobayashi, F.; Kojima, F.; Nakamoto, H.; Maeda, T.; Imamura, Nobuaki; Sasabe, K.; Shirasawa, H., "Fingertip force and position control using force sensor and tactile sensor for Universal Robot Hand II," Robotic Intelligence In Informationally Structured Space (RiiSS), 2011 IEEE Workshop on , vol., no., pp.43,48, 11-15 April 2011 doi: 10.1109/RIISS.2011.5945785
[35] Hu, Lei, et al. "A Force-Position Control System Based on Soft Tissue under Large Deformation." Advances in Mechanical Engineering 2013 (2013).
[36] Mohajerpoor, R., et al. "A robust adaptive hybrid force/position control scheme of two planar manipulators handling an unknown object interacting with an environment." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering (2011): 0959651811424251
[37] Bolandi, Hossein, and Amir F. Ehyaei. "Position/Force Control of a Dual Cooperative Manipulator System Based on a Singularly Perturbed Dynamic Model." International Journal of Robotics and Automation 27.1 (2012): 76
[38] Xu, Qingsong. "Design and Smooth Position and Force Switching Control of a Miniature Gripper for Automatic Microhandling." (2014): 1-1
[39] Gal, I. A., Munteanu, R. I., Melinte, O., & Vladareanu, L. (2013, May). A new approach of sliding motion robot control using bond graph. In Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2013 8th International Symposium on (pp. 1-6). IEEE.
[40] Ying, X., & Tengzhou, Y. (2010, December). Simulation and implement of traditional Chinese finger-kneading based on hybrid force position control. In Information Science and Engineering (ICISE), 2010 2nd International Conference on (pp. 5384-5387). IEEE.
[41] Wang, L. (2012, July). Adaptive Jacobian force/position tracking of free-floating manipulators in compliant contact with uncertain environment. In Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese (pp. 3137-3142). IEEE.
[42] Deshpande, A. D., Ko, J., Fox, D., & Matsuoka, Y. (2013). Control strategies for the index finger of a tendon-driven hand. The International Journal of Robotics Research, 32(1), 115-128.
[43] ODHNER, Lael U., et al. A compliant, underactuated hand for robust manipulation. The International Journal of Robotics Research, 2014, 33.5: 736-752.
[44] Li, M., Ranzani, T., Sareh, S., Seneviratne, L. D., Dasgupta, P., Wurdemann, H. A., & Althoefer, K. (2014). Multi-fingered haptic palpation utilizing granular jamming stiffness feedback actuators. Smart Materials and Structures, 23(9), 095007.
[45] Cha, Hyo-Jeong, Kyoung Chul Koh, and Byung-Ju Yi. "Stiffness modeling of a soft finger." International Journal of Control, Automation and Systems 12.1 (2014): 111-117.
[46] LI, Er-chao, Zhan-ming LI, and Wei LI. "Fuzzy adaptive impedance control of robot based on vision [J]." Journal of Central South University (Science and Technology) 2 (2011): 023
[47] Pedro, L. M., Fernandes, G., Stucheli, M., Siqueira, A. A., & Caurin, G. A. (2013, November). A robust manipulation strategy based on impedance control parameters changes and smooth trajectories. In Advanced Robotics (ICAR), 2013 16th International Conference on (pp. 1-7). IEEE.
[48] Caccavale, F., Muscio, G., & Pierri, F. (2013, November). Grasp force and object impedance control for arm/hand systems. In Advanced Robotics (ICAR), 2013 16th International Conference on (pp. 1-6). IEEE.
[49] Chen, Z., Lii, N. Y., Wimbock, T., Fan, S., Liu, H., & Albu-Schaffer, A. (2014). Experimental Analysis On Spatial And Cartesian Impedance Control For The Dexterous Dlr/Hit Ii Hand. International Journal of Robotics and Automation, 29(1).
[50] Antonio Morales, Mario Prats, Javier Felip, Sensors and Methods for the Evaluation of Grasping, Grasping in Robotics Mechanisms and Machine Science Volume 10, 2013, pp 77-104

[51] Romano, J. M., Hsiao, K., Niemeyer, G., Chitta, S., & Kuchenbecker, K. J. (2011). Human-inspired robotic grasp control with tactile sensing. Robotics, IEEE Transactions on, 27(6), 1067-1079.
[52] Tessitore, G., Sinigaglia, C., & Prevete, R. (2013). Hierarchical and multiple hand action representation using temporal postural synergies. Experimental brain research, 225(1), 11-36
[53] Hang, Kaiyu, Johannes A. Stork, and Danica Kragic. "Hierarchical fingertip space for multi-fingered precision grasping." Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2014
[54] Masato Hirose, Kenichi Ogawa - "Honda humanoid robots development", Phil. Trans. R. Soc. A vol. 365 no. 1850, pp 11-19, 2007
[55] Hui-Hua Zhao, Wen-Loong Ma, Michael B. Zeagler, Aaron D. Ames - "Human-Inspired Multi-Contact Locomotion with AMBER2" ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPS), pp.199- 210, 2014, doi: 10.1109/ICCPS.2014.6843723
[56] Maziar A. Sharbafi, Katayon Radkhah, Oskar von Stryk, Andre Seyfarth - "Hopping control for the musculoskeletal bipedal robot: BioBiped", 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, September 14-18, 2014, Palmer House Hilton, Chicago, IL, USA
[57] Teck Chew Wee - "Mechanical design and optimal control of humanoid robot (TPinokio)" , Source: The Journal of Engineering, 2014, 12 pp. DOI: 10.1049/joe.2013.0256, Online ISSN 2051-3305
[58] Thomas Lampe, Lukas D.J. Fiederer, Martin Voelker, Alexander Knorr, Martin Riedmiller, and Tonio Ball. 2014. A brain-computer interface for high-level remote control of an autonomous, reinforcement-learning-based robotic system for reaching and grasping. In *Proceedings of the 19th international conference on Intelligent User Interfaces* (IUI '14). ACM, New York, NY, USA, 83-88. DOI=10.1145/2557500.2557533 http://doi.acm.org/ 10.1145/2557500.2557533
[59] Li, Miao, et al. "Learning Object-level Impedance Control for Robust Grasping and Dexterous Manipulation." IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). No. EPFL-CONF-196594. 2014.
[60] Kalakrishnan, Mrinal, et al. "Learning force control policies for compliant manipulation." Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2011.
[61] Kawasaki, H.; Nanmo, S.; Mouri, T.; Ueki, S., "Virtual robot teaching for humanoid hand robot using muti-fingered haptic interface," Communications, Computing and Control Applications (CCCA), 2011 International Conference on , pp.1-6, 3-5 March 2011 0doi: 10.1109/CCCA.2011.6031431
[62] A Vakanski, I Mantegh, A Irish, F. Janabi-Sharifi - "Trajectory Learning for Robot Programming by Demonstration Using Hidden Markov Model and Dynamic Time Warping" IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. Part B, Cybernetics: a publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society (Impact Factor: 3.01). 03/2012; DOI: 10.1109/TSMCB.2012.2185694
[63] Eric L. Sausera, Brenna D. Argalla, Giorgio Mettab, Aude G. Billard - "Iterative learning of grasp adaptation through human corrections" , Robotics and Autonomous Systems 60 (2012) 55–71
[64] A Mörtl, M Lawitzky, A Kucukyilmaz, Metin Sezgin, Cagatay Basdogan, Sandra Hirche "The role of roles: Physical cooperation between humans and robots" The role of roles: Physical cooperation between humans and robots, *The International Journal of Robotics Research* November 2012 vol. 31 no. 13 1656-1674
[65] JJ Diehl, LM Schmitt, M Villano, CR Crowell - "The clinical use of robots for individuals with Autism Spectrum Disorders: A critical review" Res Autism Spectr Disord. 2012 Jan-Mar; 6(1): 249–262. doi: 10.1016/j.rasd.2011.05.006
[66] S. Ueki, H. Kawasaki, S. Ito, Y. Nishimoto - "Development of a Hand-Assist Robot With Multi-Degrees-of-Freedom for Rehabilitation Therapy" Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on (Vol:17, Issue:1) Page(s): 136 - 146 ISSN :1083-4435 DOI: 10.1109/TMECH.2010.2090353
[74] M. T. Mason and J. K. Salisbury, Robot hands and the mechanics of manipulation. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

[86] A Fernandez, JP Gazeau, S Zeghloul, S Lahouar - "Regrasping objects during manipulation tasks by combining genetic algorithms and finger gaiting" Meccanica April 2012, Volume 47, Issue 4, pp 939-950
[87] T. Okada, "Object handling system for manual industry," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. SMC-9, no. 2, 1979.
[88] R. Fearing, "Simplified grasping and manipulation with dexterous robot hands," IEEE J. Robot. Automat., vol. RA-2, pp. 188–195, Aug. 1986
[89] J. Dupuis, Z. Fan, and E.D. Goodman, "Evolutionary Design of Both Topologies and Parameters of a Hybrid Dynamical System", presented at IEEE Trans. Evolutionary Computation, 2012, pp.391-405.
[93] D. J. Montana, "The kinematics of contact and grasp," Int. J. Robot. Res., vol. 7, no. 3, pp. 17–32, 1988
[97] Luige Vladareanu, Alexandru Gal, A Multi-Functional Approch of the HFPC Walking Robots, Proceedings of the 15th International Conference on Systems, Corfu Island, Greece, July 14-16, 2011, pg.339-345, ISBN: 978-1-61804-023-7, ISSN: 1792-4235
[98] Victor Vladareanu, Gabriela Tont, Luige Vladareanu, Florentin Smarandache, , "The navigation of mobile robots in non-stationary and non-structured environments", Inderscience Publishers, Int. J. Advanced Mechatronic Systems, Vol. 5, No. 4, 2013, pg.232- 243, ISSN online: 1756-8420, ISSN print: 1756-8412, ERA_ID 41210, IJAMechS is listed in: Excellence in Research for Australia: Journal list 2012 , Scopus (Elsevier)
[99] Vladareanu, L., Tont, G., Ion, I., Munteanu, M. S., Mitroi, D., "Walking Robots Dynamic Control Systems on an Uneven Terrain", Advances in Electrical and Computer Engineering, ISSN 1582-7445, e-ISSN 1844-7600, vol. 10, no. 2, pp. 146-153, 2010, doi: 10.4316/AECE.2010.02026
[106] http://www.autodesk.com/products/autodesk-inventor-family/overview
[107] MATHWORKS, SimMechanics Getting Started Guide, 2011
[136] Glorot, X., & Bengio, Y. (2010). Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics* (pp. 249-256).
[137] Nanda, S. K., Panda, S., Subudhi, P. R. S., & Das, R. K. (2012). A novel application of artificial neural network for the solution of inverse kinematics controls of robotic manipulators. *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, *4*(9), 81
[221] A. Gal, L. Vladareanu, H. Yu, „Applications of Neutrosophic Logic Approaches in "RABOT" Real Time Control", SISOM 2012 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest, 2013.
[222] F. Smarandache, „Neutrosophy a new branch of Philosophy", Multi. Val. Logic – Special Issue: Neutrosophy and Neutrosophic Logic, 2002, Vol. 8(3), pp.297-384, ISSN:1023-6627.
[223] J. Dezert, F. Smarandache, „DSmT: A New Paradigm Shift for Information Fusion", Proceedings of Cogis '06 Conference, Paris, March 2006.
[224] F. Smarandache, J. Dezert, „Applications and Advances of DSmT for Information Fusion", Am. Res. Press, Rehoboth, 2004.
[225] F.Smarandache, L.Vlădăreanu, Applications of Neutrosophic Logic to Robotics - An Introduction, The 2011 IEEE International Conference on Granular Computing Kaohsiung, Taiwan, Nov. 8-10, 2011, pp. 607-612, ISBN 978-1-4577-0370-6, IEEE Catalog Number: CFP11GRC-PRT.